

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 58 920.8
Anmeldetag: 17. Dezember 2002
Anmelder/Inhaber: Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG,
Dahlewitz/DE
Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur Formgebung
durch elektrochemisches Abtragen
IPC: B 23 H 9/10

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 17. Dezember 2003
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Agurks", is placed here.

Agurks

Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG

EM 70214

5 Eschenweg 11
15827 Dahlewitz

16. Dezember 2002

10

15

20

25 **Verfahren und Vorrichtung zur Formgebung
durch elektrochemisches Abtragen**

30

Beschreibung

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Formgebung kompliziert geformter Bauteile, insbesondere Laufrädern mit einstückig angeformten Schaufeln für Strömungsmaschinen, mittels elektrochemischem Abtragen.

10

Bei einstückig ausgebildeten, aus dem vollen Material geformten Laufrädern für Gebläse, Verdichter und Turbinen, zum Beispiel den in Bliskbauweise ausgebildeten Laufrädern von Strahltriebwerken, erfolgt die Ausformung der in komplexer 3D-Geometrie gekrümmten Schaufeln bekanntermaßen durch spanende Formgebung mit einem Fräswerkzeug. Aufgrund der starken Krümmung der Schaufeln und der komplizierten Spaltform zwischen den Schaufeln können deren Geometrien nicht mehr im Flankenkontakt hergestellt werden. Daher ist die Formgebung nur im Punktkontakt möglich. Dieses Verfahren ist äußerst zeitaufwendig und kostenintensiv und daher für eine Serienproduktion von beispielsweise in Bliskbauweise hergestellten Verdichterscheiben nur bedingt geeignet. Zudem ist nach dem Fräsvorgang eine zusätzliche Bearbeitung der aufgrund des PunktfräSENS profilierten Oberfläche in einem Schleifprozess erforderlich.

20

25

30

Auch die Reparatur eines Laufrades, bei der beschädigte Schaufeln oder Schaufelteile ersetzt oder durch Kokillenschweißen, Auftragsschweißen und dgl. ausgebessert werden, erfordert eine aufwendige spangebende Nachbearbeitung der reparierten Schaufel.

35

Ein allgemein bekanntes Formgebungsverfahren durch Materialabtrag, wie es beispielsweise in der DE 29 03 873 beschrieben ist, basiert auf einer elektrochemischen Bear-

beitung des Werkstückes, bei der eine entsprechend geformte Elektrode in geringem Abstand linear oberhalb der mit einem Elektrolyten beaufschlagten Werkstückoberfläche schwingt und bei einem linearen Vorschub der Elektrode das Material entsprechend der Elektrodenform abträgt. Das elektrochemische Abtragen des Materials erfolgt nach dem sogenannten ECM-Verfahren (electro-chemical machining) und dem PEM-Verfahren (precise electro-chemical machining) in der Weise, dass die eine lineare Oszillation ausführenden Elektrode zum Zeitpunkt des geringsten Abstandes vom zu bearbeitenden, mit einem Elektrolyten umgebenen Werkstück mit einem Spannungsimpuls beaufschlagt wird. Das weiterentwickelte PEM-Verfahren, bei dem kein Elektrodenverschleiß und keine thermische Beeinflussung des zu bearbeitenden Werkstücks auftritt, zeichnet sich durch eine hohe Bearbeitungsgenauigkeit und Oberflächengüte aus.

In der US 4 999 093 wurde bereits die Anwendung der bekanntermaßen vorteilhaften elektrochemischen Formgebung bei der Herstellung von Turbinenschaufeln oder sonstiger Bauteile mit dreidimensional gekrümmter Form vorgeschlagen. Die dort beschriebene Vorrichtung ist jedoch wegen der dreidimensional gekrümmten, komplizierten Gestalt des jeweils zwischen zwei benachbarten Schaufeln auszuformenden Spaltes nicht zur Herstellung von einstückig, zum Beispiel in Bliskbauweise gefertigten Laufrädern mit aus dem vollen Material ausgeformten Schaufeln, geeignet.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur elektrochemischen Bearbeitung von Werkstücken anzugeben, mit dem auch kompliziert geformte Bauteile, insbesondere einstückig ausgebildete Laufräder mit aus dem vollen Material ausgeformten gekrümmten Schaufeln für Strömungsarbeitsmaschinen, mit geringem Arbeitsaufwand gefertigt bzw. repariert werden können, sowie eine ent-

sprechende Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zu entwickeln.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit einem Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

Aus den Unteransprüchen ergeben sich weitere Merkmale und vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

Der Grundgedanke des erfindungsgemäßen Verfahrens zur elektrochemischen Bearbeitung von Werkstücken besteht darin, dass synchron mit der linearen Schwingung der Elektrode oder des Werkstücks eine Zirkularoszillation der Elektrode oder des Werkstücks erfolgt, so dass sich eine kompliziert geformte Elektrode, etwa in Gestalt einer dreidimensional gekrümmten Verdichterschaufel, mit sehr geringem Materialabtrag in das zu bearbeitende Werkstück gleichsam hineindrehen kann. Eine weitere Ausformung bis zur exakten Spaltbreite und Schaufelform erfolgt ohne weitere Linearoszillation nur durch anschließende Zirkularoszillation in Verbindung mit einem Zirkularvorschub in der einen und/oder der anderen Drehrichtung. Auf diese Weise ist es möglich, kompliziert geformte Gebilde, zum Beispiel einstückig angeformte, dreidimensional gekrümmte Schaufeln und mithin aus einem Stück gefertigte Turbinenlaufräder (sog. Bliskscheiben) durch elektrochemische Bearbeitung in höchster Genauigkeit und Oberflächengüte sowie spannungsfrei herzustellen oder zu reparieren, so dass die bei den bekannten Verfahren zur Herstellung von Bliskscheiben erforderliche Nacharbeit zur Oberflächenglättung entfällt und der Herstellungs- und Reparaturaufwand wesentlich verringert wird.

Ein weitere wichtiges Erfindungsmerkmal, zum Beispiel bei der Herstellung von Verdichterschaufelrädern, besteht zudem darin, dass unter Anwendung des obigen Verfahrens mit einem auf herkömmliche Art hergestellten Musterwerkstück,

das als Elektrode benutzt wird, durch elektrochemisches Abtragen eine in dem weiteren Verfahren als Arbeitselektrode fungierende Werkstücknegativelektrode hergestellt wird, die zunächst nur in einen Rohling eingesenkt wird
5 und bei der anschließenden Zirkularoszillation die Schaufeln endgültig ausformt.

Die synchron ablaufenden Linear- und Zirkularbewegungen können sowohl von der Elektrode (Elektrodenhalter) als
10 auch von dem zu bearbeitenden Werkstück (Werkstückaufnahme) oder auch von dem Werkstück und der Elektrode ausgeführt werden.

Bei der Serienfertigung von Verdichterrädern führt die
15 Elektrode vorzugsweise die Linearbewegungen und das Werkstück vorzugsweise die Zirkularbewegungen aus.

Das Verfahren kann auch vorteilhaft bei der Reparatur von
Verdichterscheiben oder Verdichterscheibentrommeln angewendet werden. In diesem Fall erfolgt die Drehbewegung,
20 das heißt, die Zirkularoszillation und der Zirkularvorschub der Scheibe bzw. Trommel um eine zur Linearbewegung der Elektrode senkrechte Achse. Außerdem ist die Elektrode in der X- und der Y-Achse verschiebbar.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 bis 8 eine vereinfachte schematische Darstellung
5 der einzelnen erfindungsgemäßen Verfahrensschritte zur Herstellung des Schaufelkranzes eines Verdichterlaufrades, wobei in der Zeichnung jeweils nur ein bestimmter Sektor des Werkzeugs und des Werkstücks bzw. Schaufelkranzes in Abwicklung wiedergegeben ist;

10

Fig. 9 eine schematisierte Ansicht einer Vorrichtung mit überlagelter Zirkularoszillation/-vorschub um eine vertikale Achse zur Herstellung kompliziert geformter Bauteile durch elektro-chemisches Abtragen von Werkstoff nach dem PEM-Verfahren; und

15 Fig. 10 eine Darstellung der Vorrichtung nach Fig. 9, jedoch mit Zirkularoszillation/-vorschub um eine horizontale Achse.

20 Die Vorrichtung nach Fig. 9 umfasst ein aus einem Sockel 1, Seitenwangen 2 und einem Querholm 3 gebildetes Maschinengehäuse 4. Auf dem Sockel 1 befindet sich eine Werkstückaufnahme 5, das heißt, ein Arbeitstisch, auf dem während des Betriebs der Vorrichtung ein zu bearbeitendes Werkstück (nicht dargestellt) gehalten ist. Der Arbeitstisch/die Werkstückaufnahme 5 ist mit einem Drehschwingantrieb 6 (erstes Antriebsorgan) verknüpft, um den Arbeitstisch 5 und damit das zu bearbeitende Werkstück um eine vertikale Mittelachse in eine Zirkularschwingung (Zirkularoszillation, Pfeil C_{osz}) zu versetzen. Ein weiterer, mit dem Drehschwingantrieb 6 verbundener Drehvorschubantrieb 7 (zweites Antriebsorgan) gewährleistet gleichzeitig mit der Zirkularvibration eine lineare hori-

25

(1)

30

35

zontale Drehvorschubbewegung (Pfeil C_{vor}) der Werkstückaufnahme 5 in jeweils entgegengesetzten Richtungen.

Auf dem Maschinenportal 3 ist ein auf diesem entsprechend dem Doppelpfeil X verschiebbar gelagerter Werkzeugschlitten 8 mit Elektrodenhalter 9 angeordnet. Der in dem Werkzeugschlitten 8 linear beweglich geführte Elektrodenhalter 9 kann eine lineare Schwingung (Linearoszillation, Doppelpfeil Z_{osz}) sowie eine der linearen Vibration überlagerte lineare vertikale Vorschubbewegung (Doppelpfeil Z_{vor}) ausführen und ist zu diesem Zweck ebenfalls mit einem (dritten und vierten) Antrieb 11 für die linearen Vorschubbewegung und die linearen Schwingbewegung verbunden. Die horizontale Vorschubbewegung des Werkzeugschlittens 8 bewirkt ein fünfter Antrieb.

Die Funktion der oben beschriebenen Vorrichtung und das mit deren Hilfe durchgeführte erfindungsgemäße Verfahren werden nachfolgend am Beispiel der Herstellung eines einstückig ausgebildeten Verdichterlaufrades (Blickscheibe eines Triebwerkes) anhand der Figuren 1 bis 8 erläutert:

Zunächst wird in einem ersten Verfahrensschritt aus einem kostengünstig zur Verfügung stehenden elektrisch leitfähigen Material nach einem herkömmlichen spangebenden Formgebungsverfahren ein Musterwerkstück 12, hier ein Verdichterlaufrad mit am Umfang ausgebildeten Schaufeln 12a, hergestellt. Der Einfachheit halber ist in den Figuren 1 bis 8 jeweils nur ein Teil des Werkzeugs bzw. des Werkstücks mit jeweils drei Schaufeln 12a dargestellt.

Anschließend wird das Musterwerkstück 12 (12a) aus leitfähigem Material am Elektrodenhalter 9 angebracht, während auf dem darunter befindlichen Arbeitstisch 5 ein Elektrodenrohling 13 (Rohling aus einem Elektrodenmaterial, zum Beispiel Messing) gehalten ist (vgl. Fig. 1).

In dem darauffolgenden Schritt 2 wird das jetzt als Elektrode (Musterelektrode) dienende, in lineare Schwingungen Z_{osz} versetzte Musterwerkstück 12, das heißt, die einzelnen Schaufeln 12a, bei gleichzeitiger Zirkularvibration C_{osz} des Elektrodenrohlings 13 und allmählichem vertikalem Vorschub Z_{vor} und zirkularem Vorschub C_{vor} des Musterwerkstücks unter elektrochemischem Materialabtrag in den Elektrodenrohling 13 abgesenkt (Fig. 2).

10 Im nächsten Verfahrensschritt 3 gemäß Fig. 3 wird in den Ausnehmungen 14 des Elektrodenrohlings 13 jeweils zunächst die Negativform der Druckseite 15 der Schaufeln 12a des Musterwerkstück 12 ausgeformt, indem eine Zirkularvibration C_{osz} und gleichzeitig eine in der Zeichnung nach links gerichtete horizontale Drehvorschubbewegung C_{vor} des Elektrodenrohlings 13 erzeugt wird.

20 Gemäß Fig. 4 wird in Schritt 4 der Elektrodenrohling 13 bei anhaltender Zirkularoszillation C_{osz} entsprechend der Vorschubbewegung C_{vor} nach rechts bewegt, um in den Ausnehmungen 14 des Elektrodenrohlings 13 die Negativform der Saugseite 16 der Schaufeln 12a zu formen.

25 In Fig. 5 ist die in den vorangegangenen Schritten 1 bis 4 aus dem Elektrodenrohling 13 hergestellte neue Elektrode oder Arbeitselektrode 13' für eine nach dem PEM-Verfahren durchgeführte Serienfertigung von Bauteilen, deren Form dem oben erwähnten Musterwerkstück 12 entspricht, wiedergegeben. Die Arbeitselektrode 13' ist zwar nicht in Bezug auf die Wandstärke, aber hinsichtlich der Form der Druck- und der Saugseite der Schaufeln 12a das perfekte Negativ des Musterwerkstücks 12.

35 Für die Serienfertigung wird nun die Arbeitselektrode 13' am Elektrodenhalter 9 der in Fig. 9 beschriebenen Vorrichtung angebracht, und auf dem Arbeitstisch 5 ist ein

5 Rohling 17 eingespannt, an dem die gewünschte Gestalt ausgeformt werden soll, um durch elektrochemisches Abtragen beispielsweise Verdichterscheiben (Bliskscheiben) aus einem luftfahrtgeeigneten oder schwerzerspanbaren Werkstoff einfach, schnell und präzise herstellen zu können.

10 Gemäß Fig. 6 werden bei gleichzeitiger Linearoszillation Z_{osz} der Arbeitselektrode 13' (Elektrodenhalter 9) und Zirkularoszillation C_{osz} des Rohlings 17 (Arbeitstisch 5) sowie allmählichem vertikalem Vorschub Z_{vor} und C_{vor} der Arbeitselektrode 13 (Elektrodenhalter 9) in einem fünften Verfahrensschritt an dem Rohling 17 zunächst Stege 18 als Vorstufe der Schaufeln geformt. In zwei weiteren Verfahrensschritten (6 und 7) werden dann die Schaufeln 17a unter Beibehaltung der Zirkularoszillation C_{osz} des Rohlings 17, und bei allmählichem Drehvorschub C_{vor} des Rohlings 17 zunächst in der einen Richtung (Fig. 7, Schritt 6) und dann in der entgegengesetzten Drehrichtung (Fig. 8, Schritt 7) auf ihre exakte Wandstärke und dreidimensional gewölbte Gestalt fertiggeformt.

15 20 Für die Serienfertigung werden die in den Figuren 5 bis 8 dargestellten Verfahrensschritte 5 bis 7 beliebig oft wiederholt, um auf diese Art mit gegenüber den bekannten Fräswerfahren erheblich verringertem Zeit- und Arbeitsaufwand Verdichterscheiben (Bliskscheiben) in höchster Fertigungsgenauigkeit herzustellen.

25 Nach dem oben anhand der Figuren 1 bis 8 beschriebenen Verfahren und der entsprechenden Vorrichtung nach Figur 9, deren wesentliches Merkmal darin besteht, dass der linearen Oszillation mit linearem Vorschub eine zirkulare Oszillation und eine Drehvorschubbewegung in der einen und der anderen Richtung überlagert ist, können Schaufelkränze oder Sektionen von diesen oder auch einzelne Schaufeln, zum Beispiel ersetzte oder reparierte Schaufeln, durch elektrochemisches Abtragen nach dem PEM-

Verfahren in einem engsten Toleranzbereich geformt bzw. fertiggeformt werden. Die im Ausführungsbeispiel beschriebene Methode ist selbstverständlich auch für andere Anwendungsfälle zur Herstellung kompliziert geformter Bauteile, für die die elektrochemische Bearbeitung aufgrund der für die Elektrode nicht erreichbaren Werkstückbereiche bisher nicht einsetzbar war, geeignet. In bestimmten Anwendungsfällen (Werkstückformen) kann die lineare Oszillation auch getrennt von der zirkulären Oszillation durchgeführt werden, indem die Elektrode zunächst ausschließlich durch Linearoszillation in das Werkstück eindringt und anschließend ausschließlich durch Zirkularoszillation das Werkstück in zu der linearen Bearbeitung senkrechter Richtung weiter ausformt. Gleichermaßen ist die Erfindung hinsichtlich der Zuordnung der jeweiligen Schwing- und Vorschubbewegungen nicht auf das Ausführungsbeispiel beschränkt. Beispielsweise können die Linear- und Zirkularoszillation und/oder der Linear- und Zirkularvorschub auch ausschließlich von der Elektrode ausgeführt werden.

Fig. 10 zeigt eine Ausführungsvariante der in Fig. 9 dargestellten Vorrichtung, bei der, um an einem Schaufelrad oder einer aus mehreren nebeneinander angeordneten Schaufelräder gebildeten Trommel einzelne Schaufeln ausformen bzw. die Reparatur einer einzelnen Schaufel vornehmen zu können, der Werkzeugschlitten 8 auf dem Maschinenportal 3 sowohl in der X-Richtung als auch in der Y-Richtung verfahrbar ist und die Zirkularoszillation C_{osz} sowie der Zirkularvorschub C_{vor} um eine horizontale Achse, in der die zu bearbeitende Trommel angeordnet ist, erfolgen.

Bezugszeichenliste

- 1 Sockel
- 5 2 Seitenwangen
- 3 Maschinenportal
- 4 Maschinengehäuse
- 5 Werkstückaufnahme (Arbeitstisch)
- 6 Drehschwingantrieb (1. Antrieb)
- 10 7 Drehvorschubantrieb (2. Antrieb)
- 8 Werkzeugschlitten
- 9 Elektrodenhalter
- 10 3./4. Antrieb
- 11 Musterwerkstück
- 15 12a Schaufel
- 12 Elektrodenrohling
- 13' Arbeitselektrode (Werkstücknegativelektrode)
- 13 Ausnehmung in 13
- 14 Negativform v. Schaufelsaugseite
- 20 15 Negativform v. Schaufeldruckseite
- 16 Rohling
- 17a Schaufel
- 18 Stege v. 13'
- Pfeil C_{osz} Zirkularoszillation
- 25 Pfeil C_{vor} Zirkularvorschub
- Pfeil Z_{osz} Linearvibration
- Pfeil Z_{vor} Linearvorschub
- Pfeil X hor. Schlittenvorschub X-Achse
- Pfeil Y hor. Schlittenvorschub Y-Achse

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Formgebung kompliziert geformter Bauteile, insbesondere Laufräder mit einstückig angeformten Schaufeln für Strömungsarbeitsmaschinen, mittels elektrochemischem Abtragen, bei dem unter Anwesenheit eines Elektrolyten relativ zueinander eine Linearoszillation (Z_{osz}) einer Elektrode (12, 13') oder eines zu bearbeitenden Werkstücks oder Rohlings (13, 17) bei gleichzeitigem allmählichem Linearvorschub (Z_{vor}) erfolgt, und der linearen Schwing- und Vorschubbewegung (Z_{osz} , Z_{vor}) eine Zirkularoszillation (C_{osz}) und ein Zirkularvorschub (C_{vor}) überlagert sind.
- 10
- 15
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Linearoszillation und der Linearvorschub und/oder die Zirkularoszillation und der Zirkularvorschub von der Elektrode (12, 13') und/oder dem zu bearbeitenden Werkstück/Rohling (13, 17) ausgeführt wird.
- 20
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mit einem als Elektrode dienenden Musterwerkstück (12) zunächst eine Negativform des zu fertigen ^{des} Werkstücks oder Werkstückteils hergestellt wird, die in der Serienfertigung als Arbeitselektrode (13') eingesetzt wird, wobei die Negativform zunächst bei synchroner Linear- und Zirkularoszillation elektrochemisch in den Rohling (17) eingearbeitet wird und anschließend durch Zirkularoszillation mindestens eine der Seitenflächen weiter ausgeformt wird.
- 25
- 30
- 35

4. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
das elektro-chemische Bearbeiten an den verschiedenen
Bearbeitungspositionen desselben Werkstücks synchron
durchgeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
das elektro-chemische Bearbeiten an verschiedenen Be-
arbeitungspositionen desselben Werkstücks separat
durchgeführt wird.
- 10 6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach An-
spruch 1, die eine Werkstückaufnahme für einen zu be-
arbeitenden Rohling oder ein Werkstück und einen E-
lektrodenhalter aufweist, gekennzeichnet durch einen
ersten und einen zweiten Antrieb (6, 7) zur Erzeugung
einer Zirkularoszillation (C_{osz}) und eines Zirkular-
vorschubes (C_{vor}) und eines dritten und vierten An-
triebes (10) zur Erzeugung einer Linearoszillation
 (Z_{osz}) und eines Linearvorschubes (Z_{vor}).
- 15 7. Vorrichtung nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
der erste und zweite Antrieb (6, 7) der Werkstückauf-
nahme (5) und der dritte und vierte Antrieb (10) dem
Elektrodenhalter (9) zugeordnet sind.
- 20 8. Vorrichtung nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
der erste und zweite Antrieb (6, 7) dem Elektroden-
halter (9) und der dritte und vierte Antrieb der
Werkstückaufnahme (5) zugeordnet sind.
- 25 9. Vorrichtung nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass

die Antriebe (6, 7, 10) entweder dem Elektrodenhalter (9) oder der Werkstückaufnahme (5) zugeordnet sind.

10. Vorrichtung nach Anspruch 6,

5 dadurch gekennzeichnet, dass
der Elektrodenhalter (9) und/oder die Werkstückauf-
nahme (5) in der X-Richtung und/oder der Y-Richtung
verfahrbar sind.

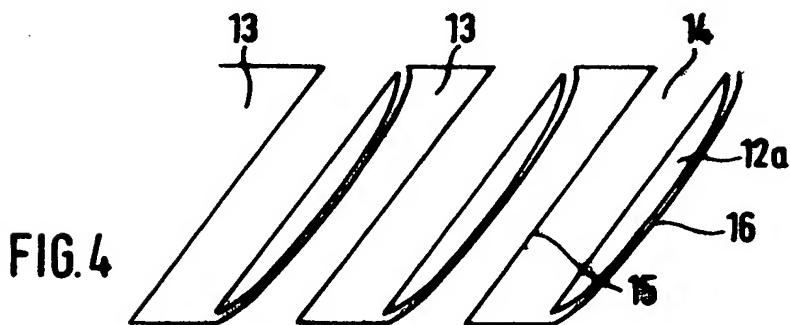
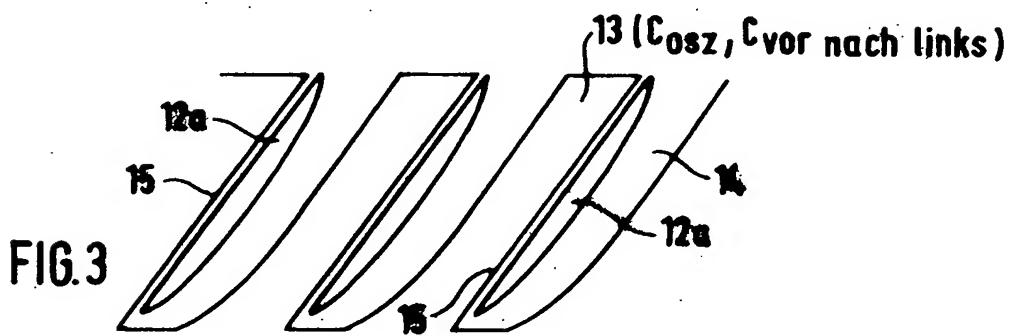
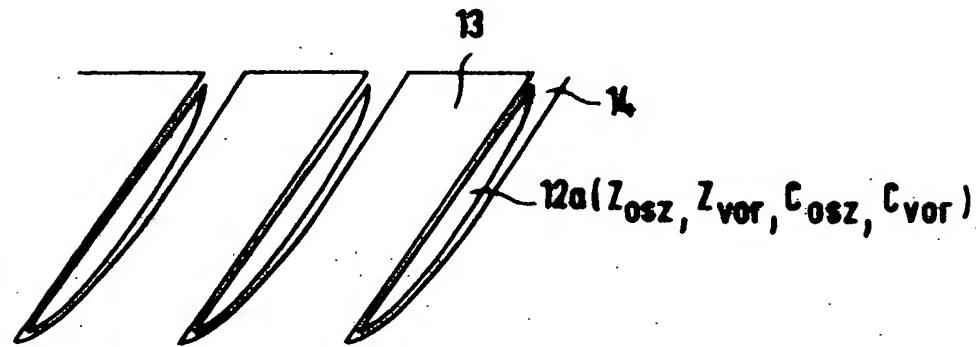
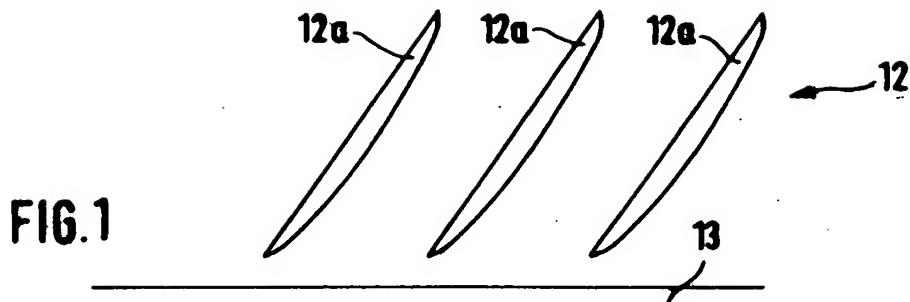
10 11. Vorrichtung nach Anspruch 6,

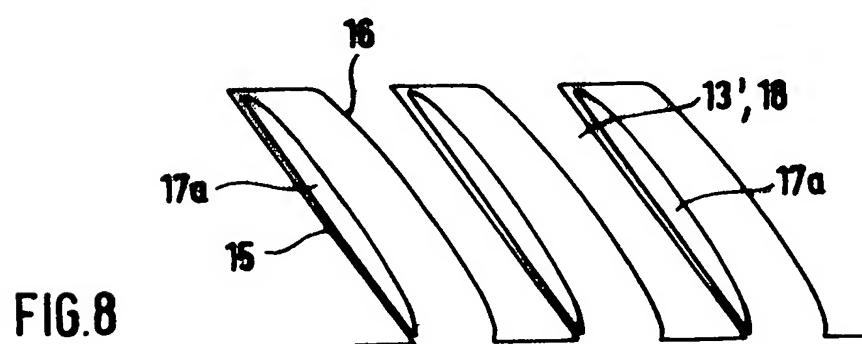
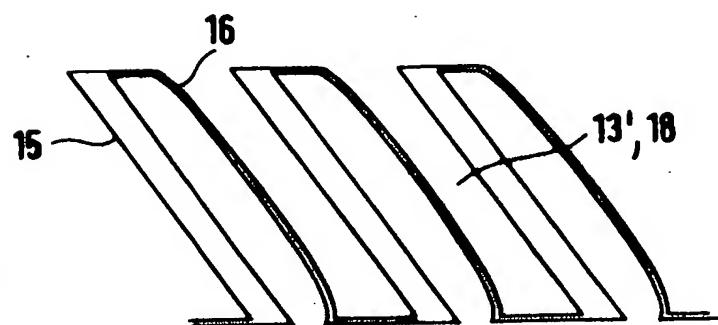
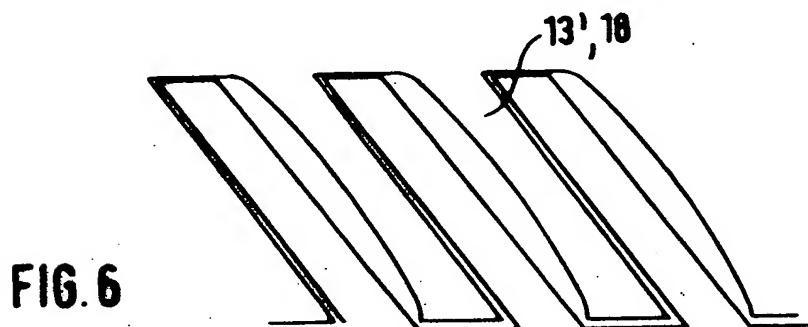
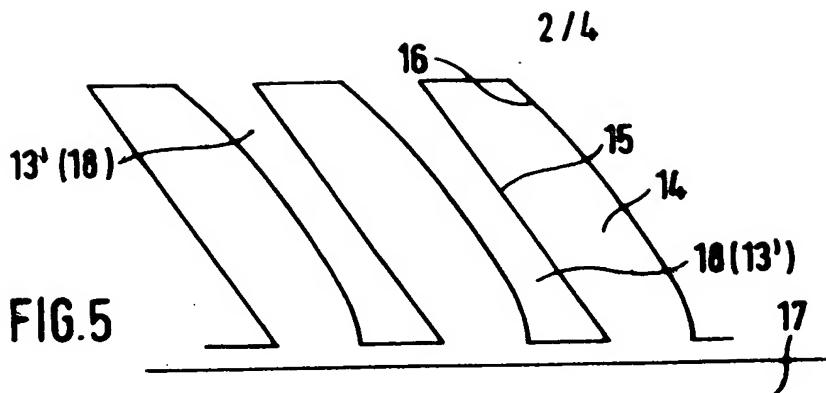
dadurch gekennzeichnet, dass
die Zirkularoszillation und der Zirkularvorschub
(C_{osz} , C_{vor}) um die Linearoszillationsachse oder eine
zu dieser im Wesentlichen senkrechten Achse erfolgt.

Zusammenfassung

5 Bei der Formgebung von metallischen Bauteilen, insbesondere der dreidimensional gekrümmten, einstückig angeformten Schaufeln von Laufrädern für Strömungsarbeitsmaschinen, wird die Linearschwingung der als Werkzeug fungierenden Elektrode mit einer zirkularen Schwingung überlagert, so dass sich die Elektrode entsprechend ihrer Form
10 in das Werkstück hineindrehen kann. Eine weitergehende Ausformung erfolgt durch Zirkularschwingungen mit zirkularem Vorschub in der einen und/oder der anderen Richtung. Eine Ausführungsform der zugehörigen Vorrichtung umfasst einen Elektrodenhalter (9) mit Linearvorschub (Z_{vor}) und Linearoszillation (Z_{osz}) sowie eine Werkstückaufnahme (5) mit Zirkularoszillation (C_{osz}) und Zirkularvorschub (C_{vor}).
15

1/4





3/4

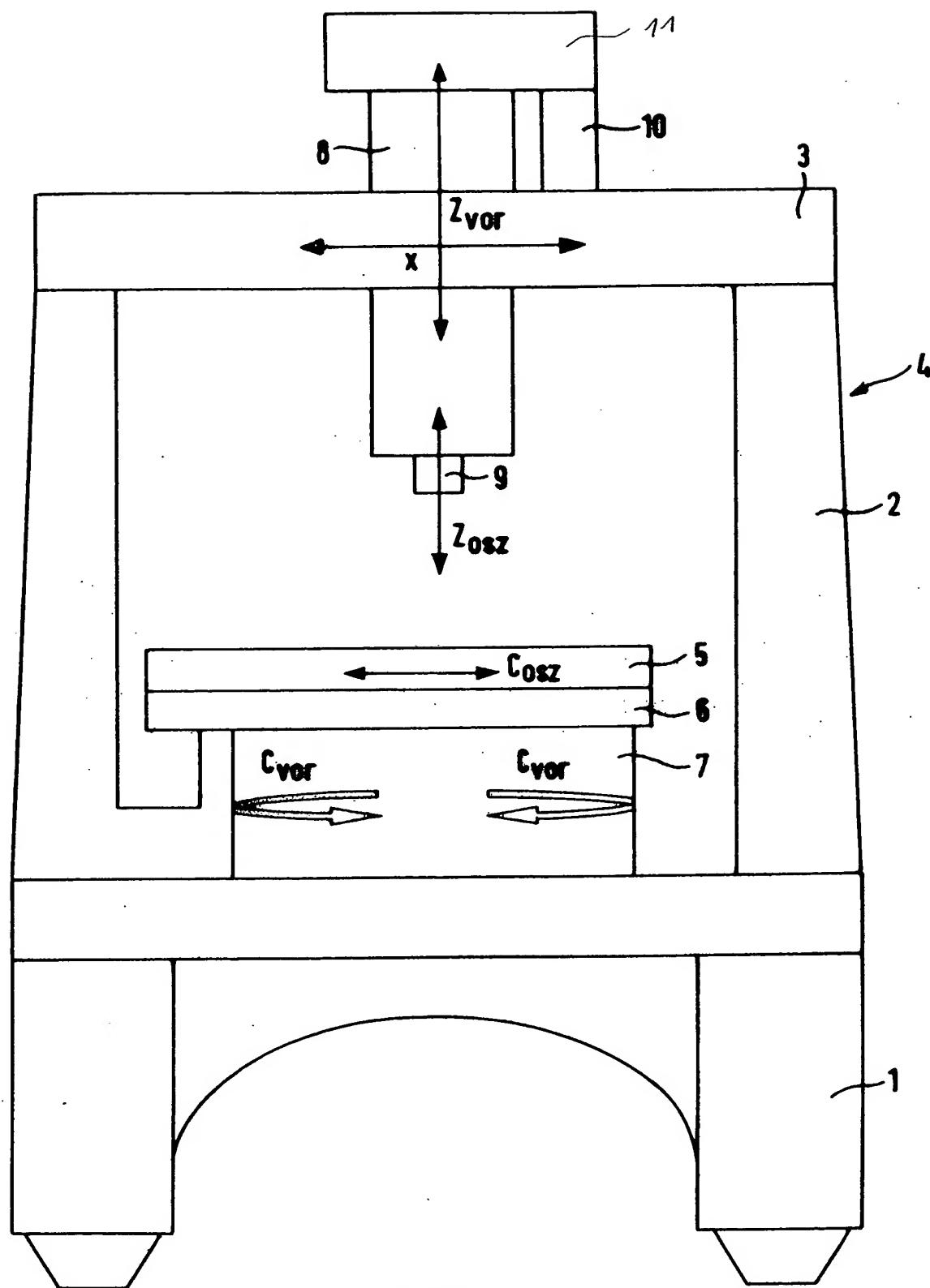


FIG.9

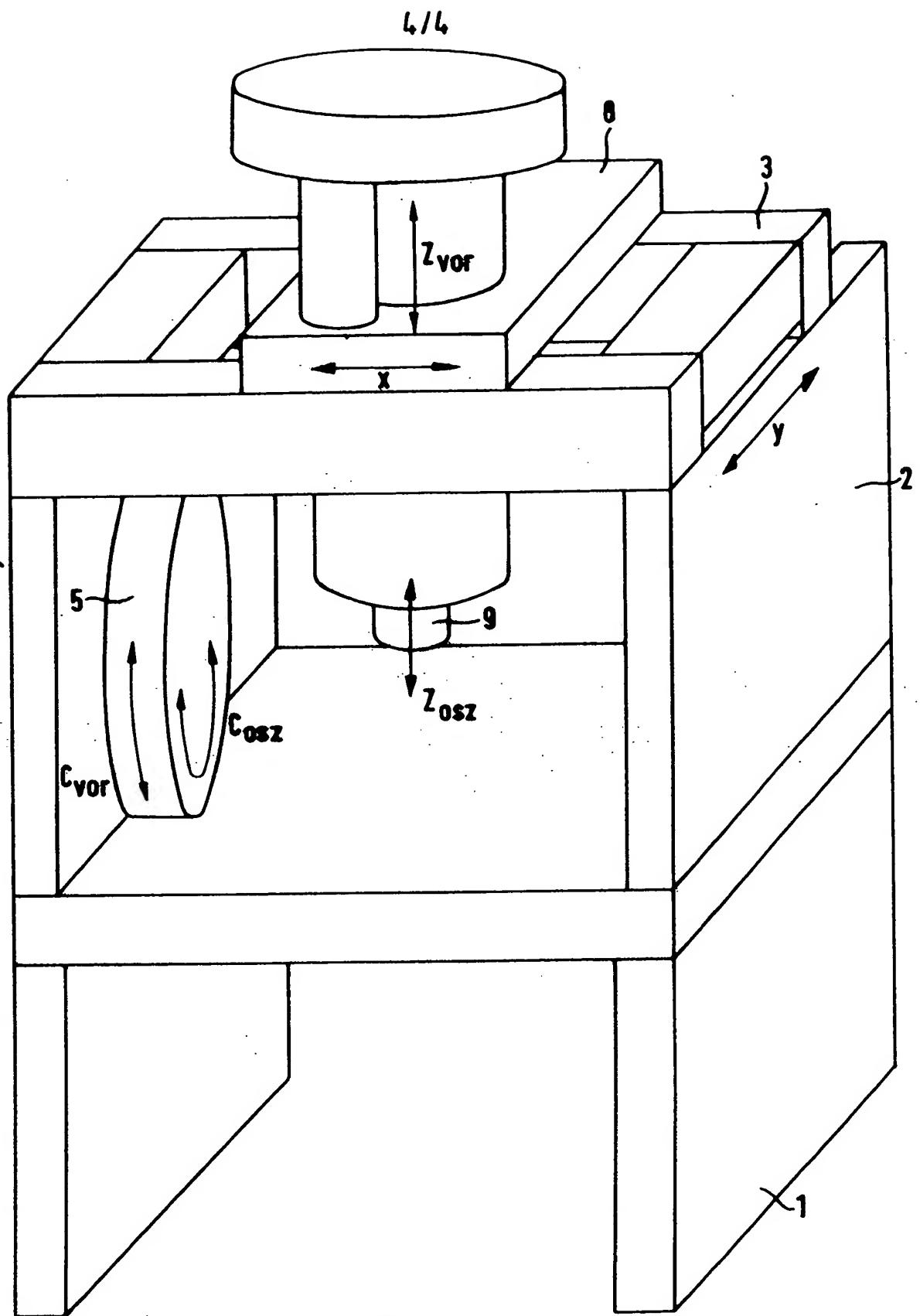


FIG.10